

Rayos X



TERCERA PARTE de la serie de notas escritas por el padre Ricardo J. Cocito S. J., especialista en el tema nuclear, quien se propone interiorizar a los no iniciados en el proceso científico que ganó para nuestro tiempo la denominación de "Era nuclear".

Durante los años 1895-98, al mismo tiempo que J. J. Thomson perfilaba la nueva figura del átomo como consecuencia del descubrimiento del electrón, se desarrollaban dos importantes experimentos: el de los Rayos X y el de la Radiactividad.

Un físico alemán, Roentgen, estaba experimentando cierto día con un tubo de descarga similar a los usados para producir rayos catódicos —como vimos en la entrega anterior—. Por algún motivo, nadie lo sabe con certeza, envolvió el tubo con cartón negro. Algo curioso llamó la atención de Roentgen: una hoja de papel cubierta con platino-cianuro de bario (él lo había usado en otro experimento, y yacía cerca del tubo recubierto) refulgía con brillo intenso cuando pasaba una corriente eléctrica por el tubo. Algo misterioso, pues, proveniente del tubo pasaba a través del cartón ennegrecido y hacía refulgir al compuesto de bario. Años atrás otro físico, William Crookes, había notado un efecto similar pero no le dio importancia.

Repetidos experimentos y prolijo examen de ese algo misterioso permitieron a Roentgen comprobar que esos rayos podían impresionar placas fotográficas, penetrar varios centímetros de madera y también hojas delgadas de aluminio. Pero no pudiendo develar la naturaleza de los mismos Roentgen puso de manifiesto su perplejidad denominándolos "Rayos X". Este físico también de-

dujo que esos rayos podrían atravesar la carne pero que los huesos opondrían una barrera al paso de los mismos. Muy pronto los rayos X fueron aplicados en los hospitales para detectar fracturas de huesos. En cuanto al elemento bario, casual descubridor de los Rayos X, tiene la propiedad de absorberlos fuertemente, y por eso se hace ingerir una pasta fina de sulfato bórico y agua (papilla de bario) para obtener radiografías con contraste y vistas fluoroscópicas del aparato digestivo.

LA NATURALEZA DE LOS RAYOS X

Hasta 1912 fue desconocida. Algunos físicos creían que eran ondas, otros pensaban que se trataba de partículas. Aquí hemos de hacer una digresión para facilitar la comprensión de los diversos comportamientos de esas dos realidades: ondas y partículas. Cuando un haz de partículas —como los electrones de los rayos catódicos— encuentra un obstáculo en su camino, una sombra bien nítida se perfila detrás del obstáculo. En cambio si un obstáculo es colocado en la propagación de una onda —un corcho en un estanque agitado— no se forma una sombra nítida. La onda rodea al corcho continuando en parte detrás de él según una sombra borrosa, tanto menos nítida cuanto mayor es su longitud de onda. Este contornearse de las ondas alrededor

y Radiactividad

de un obstáculo es llamado **fenómeno de difracción**. Las ondas de sonido son difractadas y es fácil oír lo dicho a la vuelta de la esquina. En cambio a nuestros ojos no llegan las ondas luminosas originadas detrás de una pantalla. Las ondas de luz parecen arrojar sombras nítidas. Si uno, empero, examina atentamente los rayos de luz usando un dispositivo especial, llamado red de difracción, y un microscopio, resulta claro que también las ondas luminosas son difractadas, dan vuelta al obstáculo. El fenómeno es menos perceptible que en las ondas del sonido porque las ondas luminosas tienen una longitud de onda mucho más corta que las del sonido.

La red de difracción está constituida por un conjunto de tenues surcos paralelos muy juntos entre sí trazados sobre un cristal o un plástico. Una red típica tiene 600 rayas por milímetro. Estas líneas son opacas a la luz formando un obstáculo para la misma. El espesor de cada línea es muy pequeño —aproximadamente un milésimo de milímetro—, o sea del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la luz, y así la luz puede ser difractada por tales redes.

Volviendo a los Rayos X, los primeros intentos para difractarlos, aun con las redes más densas, fracasaron. En 1912 Von Laue en la universidad de Munich tuvo la genial idea de que una delgada lámina cristalina con sus filas de átomos regularmente espaciados y a menor distancia que

la mínima de las retículas artificiales más densas, podría actuar como una red natural de difracción. El suceso fue completo. Los Rayos X fueron difractados, manifestando así su naturaleza ondulatoria. El éxito que logró von Laue al refutar la primitiva y errónea suposición de que los Rayos X eran iguales a los catódicos le valió la concesión del Premio Nóbel de Física en 1914. En 1913 Sir William Bragg y su hijo, ahora Sir Lawrence Bragg, desarrollaron ese método de difracción por medio de cristales, y así consiguieron medir la longitud de onda de los Rayos X: 0,000 000 001 de centímetro, mucho más pequeña que la de la onda visible. Más adelante veremos que cuanto más pequeña es la longitud de onda de una radiación tanto mayor es la cantidad de energía que lleva consigo, lo que explica que las manos sin protección de los pioneros fueron deformadas por la continua exposición a dichos rayos. Actualmente el uso de los Rayos X con la debida protección es indispensable en la medicina, la industria y la investigación.

DESCUBRIMIENTO DE LA RADIATIVIDAD

Poco tiempo después del descubrimiento de los Rayos X el gran matemático francés Henri Poincaré sugirió, en una reunión de la Academia Francesa de Ciencias, que la radiación X podría

estar relacionada con la fluorescencia que manifiesta el vidrio del tubo de descarga en la región donde inciden los rayos catódicos.

Esta sugerencia estimuló al físico francés Henri Becquerel a investigar algunos minerales fluorescentes. Fue profesor de física del Museo de Historia Natural de París, sucediendo a su padre y a su abuelo. Su padre había coleccionado muchos minerales fluorescentes que quedaron reunidos en el museo. Becquerel escogió un mineral de uranio, lo expuso a la luz del sol hasta que manifestó una intensa fluorescencia, y después lo colocó sobre una placa fotográfica envuelta en un papel negro. Al revelar la placa observó que se había ennegrecido; el cristal de uranio había dejado una imagen de sí mismo; claramente una radiación misteriosa proveniente del cristal había atravesado el papel negro, semejantemente a los rayos X, para producir la imagen. Esto pareció confirmar la idea de Poincaré, y en un primer momento Becquerel pensó que la misteriosa radiación había sido producida por la acción de la luz solar sobre el cristal de uranio. Pero cierto día, habiendo envuelto una nueva placa fotográfica en papel negro para repetir el experimento, el sol se ocultó detrás de las nubes: así suspendió él el experimento y guardó la placa con el cristal sobre ella en un cajón. Unos días después reveló la placa, esperando no encontrar imagen alguna. Quedó sorprendido, empero, al observar una imagen tan intensa como la anterior. La radiación en cuestión había obviamente provenido del mismo cristal: la luz solar no había actuado. Becquerel observó que el mismo fenómeno también se apreciaba en cualquier compuesto de uranio. María Sklodowska Curie, su esposa Pierre Curie y otros, pronto descubrieron radiaciones semejantes en otros elementos, como el radio, el polonio, el torio, y el actinio. En 1898 María Curie bautizó a este efecto con el nombre de "Radiactividad".

Un neozelandés de origen escocés, Ernesto Rutherford, fue el portaestandarte de los estudios sobre los elementos radiactivos. Becario en Cambridge en 1895, tuvo como profesor en el laboratorio Cavendish al brillante J. J. Thomson y había vivido los grandes hallazgos de Roentgen, Becquerel y los Curie. Debía a su maestro el haberse orientado al estudio de la producción de iones en un gas causados por el pasaje de los rayos X y de los otros descubiertos por Becquerel. El pasaje de esas radiaciones arranca electrones de las moléculas del aire, normalmente neutras, convirtiéndolas en iones positivos y negativos. Un dispositivo bien simple, el electroscope (usado en las primeras lecciones de electricidad) permitió a Rutherford detectar esos iones producidos en el aire.

Usando el electroscope Rutherford halló que la cantidad de ionización cerca de la superficie del compuesto de uranio era mucho más intensa que la producida unos cuantos centímetros más lejos.

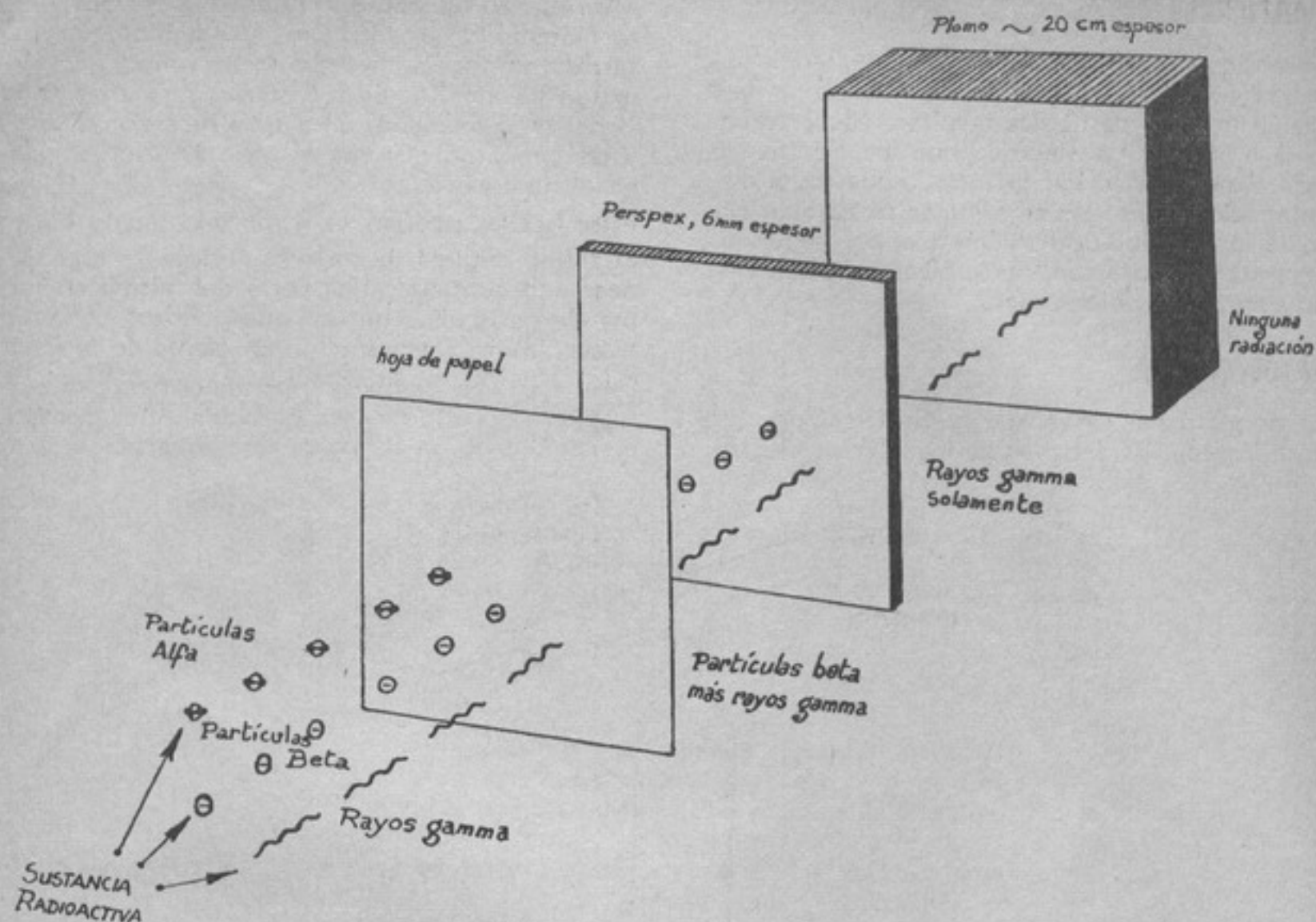
El explicó esto diciendo que las radiaciones debían ser al menos de dos tipos: una que tan sólo podía penetrar unos centímetros en el aire; la otra con mayor poder de penetración. La primera fue llamada Radiación "Alfa" y la segunda, "Beta". Colocando el electroscope a distintas distancias del uranio, Rutherford halló que la radiación Alfa podía atravesar no más de 10 centímetros de aire, y colocando láminas delgadas de aluminio en su camino bastaban 0,002 centímetros de espesor para detenerla. Del mismo modo pudo comprobar que el poder penetrante de la radiación Beta es aproximadamente 100 veces mayor. En 1900, casi a continuación de los descubrimientos de Rutherford, un francés, Villard, encontró un tercer tipo de radiación también emitida por las sustancias radiactivas. Este nuevo tipo de rayos resultó ser mucho más penetrante que los anteriores, y fue llamada radiación "Gamma". Algunos rayos Gamma han sido detectados después de haber atravesado 30 centímetros de hierro.

Bajo la acción de fuerzas eléctricas los rayos Alfa y los Beta son desviados en direcciones opuestas; en cambio los rayos Gamma continúan su camino sin sufrir desviación alguna. Estos distintos efectos muestran que los rayos Alfa han de estar constituidos por partículas positivamente cargadas, los Beta, por partículas negativamente cargadas, y que los Gamma no están vinculados a carga eléctrica alguna. Este experimento muestra que los tres tipos de radiación son bien diferentes. ¿Podremos lograr una mayor información acerca de los mismos?

PARTICULAS ALFA

En 1898 Rutherford abandonó Cambridge y fue a la McGill University en Montreal. Encargó entonces a uno de sus estudiantes, R. B. Owens, la tarea de investigar las radiaciones provenientes del elemento radiactivo torio. Owens se vio en apuros en medio de su tarea pues no hallaba cómo medir esas radiaciones. No seguían una dirección determinada y parecían ser afectadas por las corrientes de aire. Esto sugirió que a partir del torio se estaría formando un gas, a la vez radiactivo. Debido a su procedencia Rutherford lo llamó "Torio Emanación". Usando nuevamente el espectroscopio, de los tres tipos de radiación sólo fue detectada la radiación Alfa.

Esta selección natural brindó la oportunidad de profundizar el conocimiento de dicha radiación. Por tratarse de partículas eléctricamente cargadas resultó relativamente fácil medir su carga eléctrica y también su masa por medio de las desviaciones sufridas bajo la acción de fuerzas eléctricas y magnéticas. De acuerdo a estas mediciones su carga eléctrica resultó igual a $2e$ (designando e la carga de electrón) y su masa igual a 4 veces la del átomo de hidrógeno. ¡Igual cantidad de masa que la del átomo de Helio! (elemen-



to descubierto analizando las líneas espectrales de la luz solar. Nuevas líneas fueron observadas en 1868, mucho antes de descubrirse dicho elemento en la Tierra, y se atribuyeron a un nuevo elemento que sir Norman Lockyer llamó "Helio", por haberse descubierto en el sol).

La conclusión se imponía y Rutherford no dudó en afirmar que las partículas Alfa no eran sino átomos de Helio que habían perdido sus dos electrones. Por la pérdida de sus dos electrones el átomo se había convertido en ión positivo con carga $2e$, resultado acusado por el experimento. Recordemos que la pérdida de electrones no afecta significativamente a la masa del átomo, pues la masa del electrón es insignificante frente a la de todo el átomo.

Esta explicación fue pronto confirmada por el mismo Rutherford que diseñó el ingenioso dispositivo mostrado en la figura para corroborar experimentalmente su idea. El gas Emanación, emisor de partículas Alfa solamente, fue almacenado en el tubo interior.

Este tubo tenía paredes tan delgadas que las partículas Alfa podían atravesarlas. Simultáneamente el aire del recipiente superior era expedido por medio de bombas. El experimento se dejó en marcha durante unos días, entonces se hizo pasar una descarga eléctrica por el tubo superior. El amarillento color de la luz emitida y su ulterior análisis por medio del espectrómetro evidenció bien a las claras que el contenido era Helio. Puesto que el tubo superior había sido vaciado de todo gas y sólo partículas Alfa habían podido penetrar a través del tubo inferior, quedó bien comprobado que las partículas Alfa y el átomo de Helio ionizado son la misma cosa. Equivalentemente, el átomo de Helio está constituido por una partícula Alfa más dos electrones. Finalmente, sometida la partícula Alfa a fuerzas eléctricas y magnéticas se pudo deducir que viaja a grandes velocidades, alrededor de 25.000 kilómetros por segundo, y que todas las emitidas por una misma fuente se mueven aproximadamente a la misma velocidad.

PARTICULAS BETA

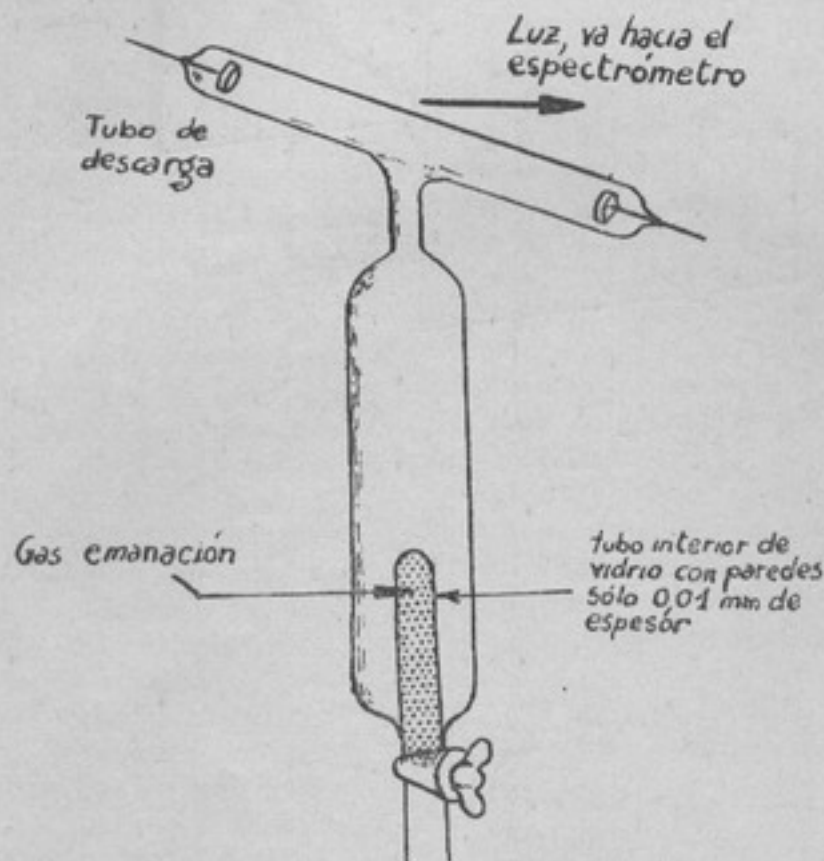
Observado su comportamiento en una región de fuerzas eléctricas y magnéticas y medido su desvío, estas partículas resultaron tener igual masa e igual carga eléctrica que los electrones. No todas se desvían igualmente, lo que acusa distintas velocidades que en algunas se aproxima a la de la luz: 300.000 kilómetros por segundo. Las partículas Beta son, pues, electrones que viajan a muy altas velocidades.

RAYOS GAMMA

No son partículas cargadas con electricidad, pues pasan inafectadas a través de las fuerzas eléctricas

Ellos habían hallado que el torio no producía directamente el gas torio emanación, sino que una forma intermedia mediaba entre ambos. La llamaron "Torio X". Ellos lograron separar el torio X del torio mediante un simple proceso químico, y comprobaron que era el torio X el origen del gas torio emanación.

Estos hechos podrían ser explicados como sigue: El átomo original de torio se desintegra espontáneamente arrojando una parte del mismo en forma de partícula Alfa. Lo que quedaba sería un nuevo átomo, precisamente un átomo de torio X. Este, a su vez, también espontáneamente arrojaría desde su interior otra partícula Alfa, quedando como resto un átomo de torio emanación. Rut-



cas y magnéticas. ¿Qué son, entonces, los rayos Gamma?

Esta pregunta quedó sin respuesta durante unos 14 años. Entonces, en 1914, pudo ser manifestada su naturaleza ondulatoria, semejante a la de los rayos X, pero con una longitud de onda más corta, extremadamente corta. Y también similar fue el experimento llevado a cabo: si son ondas ellos deberían acusar el fenómeno de la difracción. Rutherford y Andrade realizaron un experimento similar al practicado por sir William Bragg y su hijo para los rayos X, y hallaron lo que buscaban, los rayos Gamma también fueron difractados por las filas regularmente espaciadas de los átomos de un cristal. Su longitud de onda: alrededor de 0,000.0000.0001 de centímetro.

LA NATURALEZA DE LA RADIATIVIDAD

En 1902 Rutherford y Soddy adelantaron una explicación o teoría de lo que sucedía en la intimidad del elemento radiactivo.

Rutherford y Soddy dieron nombre a esta explicación: "Teoría de la Desintegración Atómica".

Esta idea, la desintegración espontánea de un átomo convirtiéndose, al arrojar una parte de él, en átomo de otro elemento fue tan nueva que la mayoría de los científicos la criticó con toda acritud. Rutherford replicó a esas críticas exponiendo el concepto y alcance de una teoría científica. Una teoría es un intento para explicar los resultados de ciertos experimentos, y mientras nuevos experimentos no se muestren en desacuerdo con la misma, la teoría propuesta queda en pie.

Experimentos subsiguientes han dado prueba del acierto de la teoría propuesta. ¡El sueño de los alquimistas se había deslizado hacia la realidad! Y ya estamos a la vista de nuestro blanco. Pronto se nos hará patente que la energía que impulsa tanto a las partículas Alfa y Beta como a los rayos Gamma es precisamente la formidable energía nuclear.

Ricardo J. Cocito S. J.